



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31309—2020  
代替 GB/T 31309—2014

---

## 铸造高温合金电子空位数计算方法

Calculation of electron vacancy number in cast superalloys

2020-06-02 发布

2020-12-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 31309—2014《镍基高温合金电子空位数计算方法》，与 GB/T 31309—2014 相比，主要技术变化如下：

- 增加了钴基铸造高温合金电子空位数计算方法(见 2.2、2.4、3.2 和 4.2.2)；
- 修改了镍基铸造高温合金电子空位数计算方法(见 2.2、2.3 和 4.2.1, 2014 年版的第 2 章和 4.2)；
- 删除了电子空位数矩阵中的铜元素,增加了钨元素,修改了镍元素的电子空位数(见表 1, 2014 年版的表 1)；
- 增加了典型高温合金电子空位数计算和应用实例(见附录 B)。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位:北京钢研高纳科技股份有限公司、钢铁研究总院、冶金工业信息标准研究院、中国航发北京航空材料研究院、中国航发南方工业有限公司、中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司。

本标准主要起草人:吴剑涛、吴保平、李维、燕平、戴强、宋尽霞、李炼、李波、陈惠霞。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 31309—2014。

# 铸造高温合金电子空位数计算方法

## 1 范围

本标准规定了铸造高温合金电子空位数的计算原理、计算步骤、计算方法和结果应用。  
本标准适用于铸造高温合金母合金及铸件的电子空位数的计算。

## 2 计算原理

2.1 铸造高温合金强化元素种类多,且各合金元素饱和度高,易于析出对强度和塑性产生不利影响的TCP相,该相主要包括 $\sigma$ 、 $\mu$ 、Laves相等。这些相的析出规律与合金 $\gamma$ 固溶体中合金元素的d层电子轨道未充满的程度——即电子空位数有关。合金的电子空位数 $N_v$ 值采用式(1)计算:

$$N_v = \sum_i^n m_i (N_v)_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $N_v$  ——合金的电子空位数;
- $m_i$  ——合金中 $\gamma$ 固溶体的第*i*个元素的原子分数;
- $(N_v)_i$  ——第*i*个元素的电子空位数;
- $n$  ——合金 $\gamma$ 固溶体中元素的数目。

2.2 计算电子空位数时,应了解合金中的沉淀相。镍基铸造高温合金的沉淀相包括硼化物、碳化物和 $\gamma'$ 相,钴基铸造高温合金沉淀相包括硼化物和碳化物。扣除这些沉淀相析出所占用的合金元素后,确定 $\gamma$ 固溶体成分,然后计算电子空位数。

2.3 镍基铸造高温合金电子空位数计算原则如下:

- a) 镍、铬、钛和钼形成 $(Mo_{0.5}, Ti_{0.15}, Cr_{0.25}, Ni_{0.10})_3 B_2$ 硼化物,由此得到析出硼化物以后的元素剩余含量。
- b) 镍基合金中主要碳化物类型有MC、 $M_{23}C_6$ 和 $M_6C$ 。假设1/2C形成MC即(Hf, Ta, Nb, Ti, Zr, V)C, 1/2C形成 $M_{23}C_6$ 即 $Cr_{21}(Mo, W)_2 C_6$ [(W+Mo) $\leq 6\%$ 时],或者 $M_6C$ 即 $NiCo_2(Mo, W)_3 C$ [(W+Mo) $> 6\%$ 时],由此得到析出碳化物以后的元素剩余含量。
- c) 剩余的铝、钛、钨、铌、钽、50%原始含量的钒以及3%原始含量的铬,与3倍的镍形成 $\gamma'$ 相,即 $Ni_3(Al, Ti, Nb, Hf, Ta, 0.5V, 0.03Cr)$ ,由此得到析出碳化物、硼化物及 $\gamma'$ 相以后的剩余固溶体成分。
- d) 利用式(1)计算剩余固溶体平均电子空位数 $N_v$ 。

2.4 钴基铸造高温合金电子空位数计算原则如下:

- a) 镍、铬、钛和钼形成 $(Mo_{0.5}, Ti_{0.15}, Cr_{0.25}, Ni_{0.10})_3 B_2$ 硼化物,由此得到析出硼化物以后的元素剩余含量。
- b) 钴基合金中主要碳化物类型有MC、 $M_{23}C_6$ 和 $M_6C$ 。假设1/2C形成MC即(Hf, Ta, Nb, Ti, Zr, V)C, 1/2C形成 $M_{23}C_6$ 即 $Cr_{21}(Mo, W)_2 C_6$ [(W+Mo) $\leq 6\%$ 时],或者 $M_6C$ 即 $NiCo_2(Mo, W)_3 C$ [(W+Mo) $> 6\%$ 时],由此得到析出碳化物以后的元素剩余含量。
- c) 利用式(1)计算剩余固溶体平均电子空位数 $N_v$ 。